ลักษณะทางเคมีกายภาพและประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไดฟุกุจากข้าวเหนียวดำพันธุ์พื้นเมืองจังหวัดจันทบุรี

Physicochemical and Sensory Characteristics of Daifuku Products Made from Native Black Glutinous Rice in Chanthaburi Province

นฤมล มงคลธนวัฒน์[1] และ สุรีย์พร บุญนา[1]*

Naruemon Mongkontanawat[1] and Sureeporn Boonna[1*]

Received 18 October 2022, Revised 24 February 2023, Accepted 1 March 2023

ABSTRACT

Black glutinous rice is enriched with important substances, gamma-oryzanol and anthocyanins, which are antioxidant agents, lowering cholesterol, triglycerides, and blood sugar levels. The aim of this research was to study the basic formulation and product development of Daifuku from native black glutinous rice varieties in Chanthaburi province (Trade name: Hom Chan Ocha) on the chemical, physical and sensory characteristics. The ratios of white glutinous rice flour: black glutinous rice flour were studied as follows: 100:0, 50:50, and 0:100, respectively. The results showed that the addition of black glutinous rice flour increased the red value (a*) but reduced brightness (L*) and yellow values (b*). It also increased the phenolic content and antioxidant properties, which was analyzed by DPPH method ($p \leq 0.05$). However, the addition of black glutinous rice flour had no statistical effect ($p > 0.05$) on the texture characteristics in terms of hardness, cohesiveness, gumminess, chewiness, and adhesiveness of Daifuku product. Nevertheless, there was a tendency to decrease the springiness which was related to the hardness values that tended to increase with the increase in the amount of black glutinous rice. Sensory evaluation revealed that consumers accepted the color, sweetness, and overall liking of all 3 formulas of Daifuku products which were not statistically different ($p > 0.05$). However, when increasing the amount of black glutinous rice flour, the acceptance scores for firmness and stickiness decreased. Therefore, the optimal ratio for Daifuku products processed from native black glutinous rice is the ratio of white glutinous rice flour to black glutinous rice flour, 50:50.

Keywords: Daifuku, Native Black Glutinous Rice, Antioxidant Properties

บทคัดย่อ

ข้าวเหนียวดำอุดมด้วยสารสำคัญ คือ แกมมาโอไรซานอล และแอนโทไซยานิน ซึ่งเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ช่วยลดคอเลสเตอรอล ไตรกลีเซอไรด์ และระดับน้ำตาลในเลือด งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสูตรพื้นฐานและพัฒนาผลิตภัณฑ์ไดฟุกุจากข้าวเหนียวดำสายพันธุ์พื้นเมืองในจังหวัดจันทบุรี

[1*] สาขาวิชานวัตกรรมอาหารและธุรกิจ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี อ.เขาคิชฌกูฏ จ.จันทบุรี 22210

Department of Food Innovation and Business, Faculty of Agro-Industrial Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chanthaburi Campus, Khao Khitchakut District, Chanthaburi 22210, Thailand.

* Corresponding author: Tel. 08-9847-9668, E-mail address: sureeporn_bo@rmutto.ac.th

(ชื่อทางการค้า คือ ข้าวหอมจันท์โอชา) ต่อคุณภาพทางเคมี กายภาพ และลักษณะทางประสาทสัมผัส โดยศึกษาอัตราส่วนแป้งข้าวเหนียวขาว:แป้งข้าวเหนียวดำ ดังนี้ 100:0, 50:50 และ 0:100 ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่าการเพิ่มแป้งข้าวเหนียวดำส่งผลต่อการเพิ่มค่าสีแดง (a*) แต่ลดค่าความสว่าง (L*) และค่าสีเหลือง (b*) นอกจากนี้ยังเพิ่มปริมาณสารฟีนอลิกและคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งทดสอบโดยวิธี DPPH ($p \leq 0.05$) แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มแป้งข้าวเหนียวดำไม่มีผลทางสถิติ ($p>0.05$) ต่อลักษณะเนื้อสัมผัสในด้านความแข็ง พลังงานยึดเกาะภายในเนื้ออาหาร ระดับความเป็นกาวยางหรือแป้งเปียก พลังงานในการเคี้ยว และการเกาะติดผิวของผลิตภัณฑ์ไดฟุกุ แต่มีแนวโน้มในการลดค่าการกลับคืนสู่ขนาดและรูปร่างเดิมของผลิตภัณฑ์ไดฟุกุ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าความแข็งที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณแป้งข้าวเหนียวดำที่เพิ่มขึ้น ผลการประเมิน ทางประสาทสัมผัส พบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับ ด้านสี ความหวาน และความชอบรวมของผลิตภัณฑ์ไดฟุกุที่ทั้ง 3 สูตรไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวเหนียวดำส่งผลให้ผู้บริโภคให้การยอมรับด้านความแน่นเนื้อและความเหนียวลดลง ดังนั้นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ไดฟุกุจากข้าวเหนียวดำพันธุ์พื้นเมือง คือ อัตราส่วนแป้งข้าวเหนียวขาวต่อแป้งข้าวเหนียวดำ 50:50

คำสำคัญ: ไดฟุกุ ข้าวเหนียวดำพันธุ์พื้นเมือง คุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ

คำนำ

ข้าวเหนียวดำเป็นข้าวที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ คือ มีสารแอนโทไซยานิน (anthocyanin) และแกมมา โอไรซานอล (gamma oryzanol) มากกว่าข้าวเหนียวขาว โดยสารแอนโทไซยานินเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันช่วยหมุนเวียนกระแสโลหิต ชะลอการเสื่อมของเซลล์ สามารถช่วยลดการอักเสบของเนื้อเยื่อ ช่วยลดไขมันอุดตันในเส้นเลือด ป้องกันโรคอ้วน โรคความดันโลหิตสูง โรคเกาต์ โรคเบาหวาน ช่วยบำรุงสายตา ต้านอนุมูลอิสระและสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งอีกด้วย (Lazze *et al*., 2004) โดยเฉพาะ cyaniding 3-glucoside ซึ่งมีปริมาณสูงในข้าวสีดำ พบว่ามีคุณสมบัติยับยั้งการเจริญของเซลล์มะเร็งปอดอีกด้วย (Chen *et al*., 2006) ส่วนแกมมาโอไรซานอลเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ช่วยลดคอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์และเพิ่มระดับของ high density lipoprotein (HDL) ในเลือด ช่วยในการลดน้ำตาลในเลือดและเพิ่มระดับของฮอร์โมนอินซูลินของผู้ที่เป็นเบาหวานชนิดที่ 2 (จรัญจิตต์ และสุวัฒน์, 2554)

จังหวัดจันทบุรีมีข้าวเหนียวดำคือข้าวหอมจันท์โอชา ซึ่งเป็นข้าวเหนียวดำสายพันธุ์พื้นเมืองที่เพาะปลูกได้ปีละ 1 ครั้ง และนิยมเพาะปลูกไว้เพื่อรับประทานกันในชุมชน เพื่อประกอบอาหารและทำขนมในงานประเพณีต่างๆ ซึ่งข้าวดังกล่าวเพาะปลูกและผลิตโดยกลุ่มวิสาหกิจชุมชนในพื้นที่ ต.วังแซ้ม อ.มะขาม จ.จันทบุรี นอกจากนี้จากงานวิจัยของนวลพรรณ และคณะ (2557) พบว่ารำข้าวเจ้าดำท้องถิ่นในจังหวัดจันทบุรี ซึ่งเป็นข้าวที่มีแหล่งผลิตเดียวกันมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระมากกว่าข้าวหอมนิลข้าวหอมสุโขทัย ข้าวกล้องหอมนิลจักรพรรดิ ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าวหอมแดงสุโขทัยและข้าวเสาไห้ ตามลำดับ

จากข้อดีของข้าวดำดังกล่าวจึงทำให้นักวิจัยสนใจนำข้าวดำพื้นเมืองมาศึกษาวิจัย อาทิเช่น จากงานวิจัยของนฤมล และคณะในปี 2559 และ2560 ได้ศึกษาการผลิตโยเกิร์ตเสริมกาบ้าจากข้าวดำงอกสายพันธุ์พื้นเมืองจังหวัดจันทบุรีและผลิตเครื่องดื่มข้าวดำงอกสายพันธุ์พื้นเมืองผงสำเร็จรูป ซึ่งพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่ากลุ่มควบคุมที่ไม่มีการใส่ข้าวดำ แต่อย่างไรก็ตามยังไม่พบการนำข้าวข้าวหอมจันท์โอชามาศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ไดฟุกุเพื่อทดแทนแป้งข้าวเหนียวขาว ซึ่งไดฟุกุเป็นขนมที่ได้รับความนิยมของผู้บริโภค มีเนื้อสัมผัสนุ่มยืดหยุ่น มีแป้งข้าวเหนียวเป็นส่วนประกอบหลัก (ชนิษฎา และกมลวรรณ, 2554) แต่จะมีความหวาน มีพลังงานสูง และมีคุณค่าทางโภชนาการต่ำ ส่งผลให้

เมื่อผู้บริโภครับประทานแล้วอาจส่งผลต่อการเป็นโรคเบาหวาน โรคอ้วน และโรคไม่ติดต่อเรื้อรังในที่สุดได้ ซึ่งพบว่ามีแนวโน้มพบมากขึ้นและมีอัตราการตายสูงขึ้นในปัจจุบัน (นัยนา, 2553; อัจฉรา, 2556)

ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว และเพื่อเป็นการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการในด้านสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของผลิตภัณฑ์ไดฟุกุ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสูตรพื้นฐานและพัฒนาผลิตภัณฑ์ไดฟุกุจากข้าวเหนียวดำสายพันธุ์พื้นเมืองในจังหวัดจันทบุรีต่อคุณภาพทางเคมี กายภาพ และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค เพื่อนำข้อมูลที่ได้เป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าของข้าวเหนียวดำสายพันธุ์พื้นเมืองของจังหวัดจันทบุรีและยังเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพชนิดใหม่ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงโดยใช้ข้าวท้องถิ่นซึ่งเป็นอีกแนวทางในการช่วยส่งเสริมการผลิตและจำหน่ายพืชท้องถิ่นอีกด้วย

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเตรียมแป้งข้าวเหนียวดำพันธุ์พื้นเมือง

ข้าวเหนียวดำพันธุ์พื้นเมืองที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีชื่อทางการค้าว่า “ข้าวหอมจันท์โอชา” ซึ่งซื้อจากเกษตรกรท้องถิ่น อ.มะขาม จ.จันทบุรี นำมาเตรียมแป้งข้าวเหนียวดำพันธุ์พื้นเมืองโดยวิธีการโม่แห้งด้วยเครื่องบดตัวอย่างแบบ Ultra centrifugal Mill (Retsch, รุ่น ZM 200, ประเทศเยอรมณี) จนละเอียดและนำแป้งข้าวเหนียวดำที่ได้ไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 Mesh จากนั้นเก็บใส่ถุงพลาสติกซิปล็อคชนิด low density polyethylene (LDPE) ที่อุณหภูมิห้อง และวิเคราะห์คุณภาพเบื้องต้น ได้แก่ ความชื้น โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ความชื้นแบบอินฟราเรด (Sartorius, รุ่น MA 45, ประเทศเยอรมณี) ใช้น้ำหนักตัวอย่าง 1 g และทำการทดลอง 3 ซ้ำ และค่าสีด้วยระบบ CIE L* a* และ b* โดยใช้เครื่องวัดค่าสี (Color meter รุ่น Color Flex 45/0, Hunter Lab, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

2. การผลิตผลิตภัณฑ์ไดฟุกุจากข้าวเหนียวดำพันธุ์พื้นเมือง

การผลิตผลิตภัณฑ์ไดฟุกุจากข้าวเหนียวดำพันธุ์พื้นเมืองวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยศึกษาอัตราส่วนของแป้งข้าวเหนียวขาวและแป้งข้าวเหนียวดำทั้งหมด 3 อัตราส่วน ดังนี้ 100:0, 50:50 และ 0:100 ตามลำดับ โดยส่วนผสมของแป้งไดฟุกุทั้ง 3 อัตราส่วน แสดงดัง Table 1

การทำผลิตภัณฑ์ไดฟุกุเริ่มจากการทำไส้ โดยนำถั่วแดง 1,500 g มาแช่น้ำทิ้งไว้ค้างคืน แล้วนำมาต้มให้สุกที่อุณหภูมิ 85°C ประมาณ 1 h และบดให้ละเอียด จากนั้นเทใส่กระทะทองเหลือง เติมน้ำตาล 450 g และเกลือ 3/4 ช้อนชา กวนจนแห้ง รอให้เย็นแล้วปั้นเป็นก้อนกลมๆ น้ำหนักก้อนละ 10 g ตั้งพักไว้ เพื่อรอการนำไปห่อเป็นไส้ขนมไดฟุกุ จากนั้นทำแป้งไดฟุกุ โดยการชั่งตวงส่วนผสมทุกอย่างตามสูตรใน Table 1 ผสมแป้งข้าวเหนียวขาวและ/หรือแป้งข้าวเหนียวดำกับแป้งมันสำปะหลังในอ่างผสม จากนั้นร่อนด้วยที่ร่อนแป้ง 1 ครั้ง เติมส่วนผสมน้ำและน้ำตาลทรายลงในกระทะทองเหลือง ตั้งไฟจนอุณหภูมิ 100°C เติมส่วนผสมของแป้งลงในกระทะกวนนาน 5 min และนำส่วนผสมออกจากกระทะเทลงในถาดที่โรยด้วยแป้งมันสำปะหลังที่ใช้สำหรับทำแป้งนวล ตัดแป้งเป็นก้อน ก้อนละ 10 g แผ่แป้งออกและใส่ก้อนไส้ถั่วแดงกวนน้ำหนัก 10 g ที่เตรียมไว้ หุ้มไส้ให้มิด แล้วคลุกกับแป้งนวลบางๆ วางลงในกระทงกระดาษหรือฟอยล์ เก็บใส่ภาชนะปิดให้สนิท

3. สมบัติด้านความหนืด (pasting properties) ของส่วนผสมแป้งไดฟุกุ

เตรียมส่วนผสมแป้งที่ใช้ทำไดฟุกุ ได้แก่ แป้งข้าวเหนียวขาว แป้งข้าวเหนียวดำพันธุ์พื้นเมือง และแป้งมันสำปะหลัง ตามอัตราส่วนใน Table 1 ที่ความเข้มข้น 8% โดยน้ำหนัก แล้วนำมาศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดโดยใช้เครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) (RVA-3D, Newport Scientific, Narrabeen, ประเทศออสเตรเลีย) กวนแป้งโดยใช้ใบพัดแบบ paddle ที่ความเร็วรอบ 160 rpm ให้ความร้อนจากอุณหภูมิ 40 จนถึง 92.5°C ด้วยอัตรา

3°C/min รักษาระดับอุณหภูมิที่ 92.5°C เป็นเวลา 15 min และลดระดับอุณหภูมิลงเป็น 40°C ด้วยอัตรา 3°C/min (ฉัชษชี, 2559) โดยทำการวัดค่าอุณหภูมิเริ่มต้นการเกิดความหนืด (pasting temperature), ความหนืดสูงสุด (peak viscosity), ความหนืดต่ำสุดระหว่างการทำเย็น (trough viscosity), ผลต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (break down), ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) และผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด (setback)

4. การวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์ไดฟุกุจากข้าวเหนียวดำพันธุ์พื้นเมือง

ผลิตภัณฑ์ไดฟุกุจากข้าวเหนียวดำพันธุ์พื้นเมืองที่แปรรูปได้ จะถูกนำมาตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพ ดังนี้

4.1 การวัดค่าสี

วัดค่าสีด้วยระบบ CIE L* a* และ b* ด้วยเครื่องวัดค่าสี (color meter รุ่น Color Flex 45/0, Hunter Lab, ประเทศสหรัฐอเมริกา) โดยค่าสี L* เป็นค่าบอกถึงความมืด-สว่าง มีค่า 0-100 (โดย 0 หมายถึง วัตถุมีความมืด และ 100 หมายถึง วัตถุมีความสว่าง) a* เป็นค่าที่บรรยายแกนสี จากสีเขียว (-a*) จนถึง สีแดง (+a*) (+ หมายถึง วัตถุมีสีแดง, - หมายถึง วัตถุมีสีเขียว) และ b* เป็นค่าที่บรรยายแกนสี จากสีน้ำเงิน (-b*) จนถึงสีเหลือง (+b*) (+ หมายถึง วัตถุมีสีเหลือง, - หมายถึง วัตถุมีสีน้ำเงิน

4.2 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส

นำผลิตภัณฑ์ไดฟุกุมาวิเคราะห์เนื้อสัมผัสโดยการวัดค่าต่างๆ ดังนี้ ความแข็ง (hardness) พลังงานยึดเกาะกันภายในเนื้ออาหาร (cohesiveness) การกลับคืนสู่ขนาดและรูปร่างเดิม (springiness) หรือความยืดหยุ่น ระดับความเป็นกาวยางหรือแป้งเปียก (gumminess) พลังงานในการเคี้ยว (chewiness) และการเกาะติดผิว (adhesiveness) โดยทำการเตรียมตัวอย่างไดฟุกุรูปทรงกลม น้ำหนัก 20 g ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5” และทำการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสแบบ Texture Profile Analysis (TPA) ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (TA.XT plus, Stable Micro Systems Texture analyzer, Surrey, ประเทศอังกฤษ) โดยใช้หัววัดอะลูมิเนียมทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 mm (P/50) ความเร็วของหัววัด 10 mm/sec และระยะกดตัวอย่างเท่ากับ 50% ของความสูงเริ่มต้นของตัวอย่าง โดยทำการตรวจวัดตัวอย่างละ 10 ซ้ำและนำมาหาค่าเฉลี่ย (เจตนิพัทธ์ และคณะ, 2556)

4.3 การวัดค่าความชื้น

นำผลิตภัณฑ์ไดฟุกุมาวัดค่าความชื้นโดยใช้เครื่องวิเคราะห์ความชื้นแบบอินฟราเรด (Sartorius, รุ่น MA 45, ประเทศเยอรมณี) โดยใช้น้ำหนักตัวอย่าง 1 g และทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

4.4 คุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant assay)

นำผลิตภัณฑ์ไดฟุกุมาตรวจวัดคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant assay) โดยวิธีการทำลายอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (Diphenyl picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging assay) ตามวิธีการของ Gulcin *et al.* (2003) โดยเตรียมหลอดทดลอง 3 หลอด ดังนี้ หลอดที่ 1 ปิเปตตัวอย่าง 2 mL เติมสารละลาย DPPH 0.16 mM 2 mL ผสมให้เข้ากัน หลอดที่ 2 ปิเปต ตัวอย่าง 2 mL เติมเมทานอล 80% 2 mL แล้วผสมให้เข้ากัน หลอดที่ 3 ปิเปตเมทานอล 80% 2 mL เติมสารละลาย DPPH 0.16 mM 2 mL และผสมให้เข้ากัน จากนั้นนำหลอดทดลองทั้ง 3 หลอด ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 30 นาที แล้วนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 nm โดยใช้สารต้านอนุมูลอิสระที่เป็น positive control ได้แก่ L-ascorbic acid 1,000 µg/mL

4.5 ปริมาณสารฟีนอลิก

นำผลิตภัณฑ์ไดฟุกุมาตรวจวัดปริมาณสารฟีนอลิก ดัดแปลงจากวิธีของ Iqbal *et al.* (2005) โดยนำตัวอย่าง 3 g สกัดด้วยเอทานอล 80% ปริมาณ 30 mL เขย่าเป็นเวลา 24 h กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ปิเปตส่วนใส 50 µL เติมน้ำกลั่น 950 µL ตามด้วย folin-ciocalteu phenol reagent และ $NaCO_3$ 7.50% แล้วผสมให้เข้ากัน ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 h และนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 760 nm

4.6 ปริมาณพลังงานในอาหาร

ทำการวัดค่าปริมาณพลังงานในอาหารของผลิตภัณฑ์ไดฟุกุ โดยใช้บอมบ์แคลอริมิเตอร์ (Bomb Calorimeter)

5. การประเมินทางประสาทสัมผัส

นำผลิตภัณฑ์ไดฟุกุที่ได้มาทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน โดยประเมินการยอมรับด้านสี (Color) ความแน่นเนื้อ (Firmness) ความเหนียว (Stickiness) ความหวาน (Sweetness) และความชอบรวม (Overall liking) ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบแบบ 9-Point Hedonic Scale

6. การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำผลการทดลองมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และนำไปวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple rang test (MRT) โดยใช้โปรแกรม Statistic Package for the Social Science (SPSS)

ผลและวิจารณ์

1.การวิเคราะห์คุณภาพของแป้งข้าวเหนียวดำสายพันธุ์พื้นเมืองในเบื้องต้น

การวิเคราะห์คุณภาพของแป้งข้าวเหนียวดำพันธุ์พื้นเมืองในเบื้องต้น พบว่ามีค่าความชื้นร้อยละ 9.55±0.11 ค่าสี L* เท่ากับ 62.21±0.12 ค่าสี a* เท่ากับ 2.47±0.09 และค่าสี b* เท่ากับ 5.26±0.26 ตามลำดับ ซึ่งความชื้นที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ สุริยาพร และคณะ (2555) ที่รายงานว่าข้าวเหนียวดำพันธุ์อมก๋อยที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการทำข้าวอบกรอบมีความชื้นเริ่มต้น 10.17% และจากการศึกษาของ Jiamyangyuen *et al*. (2019) ได้รายงานว่าแป้งข้าวเหนียวดำของจังหวัดเพชรบูรณ์มีค่าความชื้น 10.7% และมีค่าสี L* เท่ากับ 48.4 ค่าสี a* เท่ากับ 2.2 และค่าสี b* เท่ากับ 1.1 ตามลำดับ ซึ่งความแตกต่างของค่าสี L* และ b* นี้อาจเป็นผลมาจากความแตกต่างด้านสายพันธุ์ของข้าว สภาพแวดล้อมและพื้นที่เพาะปลูก จึงส่งผลให้ข้าวเหนียวดำที่ได้มีคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพที่แตกต่างกัน (Ronie & Hasmadi, 2022)

2. สมบัติด้านความหนืด (pasting properties) ของส่วนผสมแป้งไดฟุกุ

สมบัติด้านความหนืดของส่วนผสมแป้งไดฟุกุ ซึ่งมีส่วนผสมของแป้ง 3 ชนิด ได้แก่ แป้งข้าวเหนียวขาว แป้งข้าวเหนียวดำพันธุ์พื้นเมือง และแป้งมันสำปะหลัง ตามอัตราส่วนใน Table 1 แสดงดัง Table 2 และการเปลี่ยนแปลงความหนืดแสดงดัง Figure 1 ซึ่งสามารถบ่งบอกได้ถึงค่าความหนืดของส่วนผสมที่เปลี่ยนแปลงไป

Table 1 Ingredients of Daifuku flour at different ratios between white glutinous rice flour and black glutinous rice flour

Daifuku Flour Ingredients	Ratios of white glutinous rice flour to black glutinous rice flour		
	100:0	50:50	0:100
White glutinous Rice Flour (g)	90	45	0
Black Glutinous Rice Flour (g)	0	45	90
Tapioca Starch (g)	10	10	10
Sugar (g)	20	20	20
Water (g)	150	150	150
Tapioca Starch for Making Soft Dough (g)	100	100	100

Table 2 Pasting properties of Daifuku flour ingredients at different ratio of glutinous rice flour to black glutinous rice flour as determined by RVA

RVA parameters	Ratio of white glutinous rice flour to black glutinous rice flour		
	100:0	50:50	0:100
Peak Viscosity (cP)	3026[a]	2089[b]	1467[c]
Trough Viscosity (cP)	1689[a]	1460[b]	1129[c]
Breakdown (cP)	1337[a]	629[b]	338[c]
Final Viscosity (cP)	2102[a]	1864[b]	1588[c]
Setback (cP)	413[b]	404[b]	459[a]
Pasting Temp (°C)	51.65	51.45	51.05

Note: *Mean values with different letters in each low are significantly different ($p \leq 0.05$).

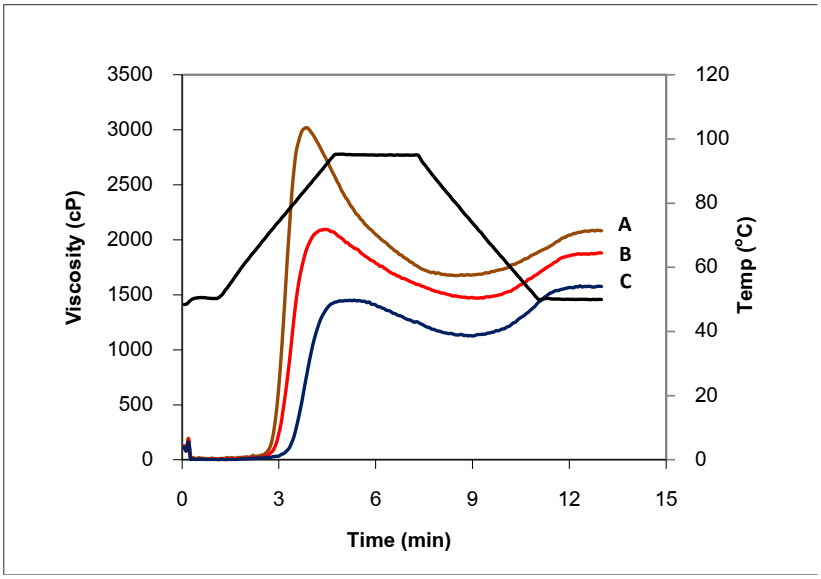

Figure 1 RVA profiles of Daifuku flour ingredients (A = ratio of white glutinous rice flour to black glutinous rice flour of 100:0, B = ratio of white glutinous rice flour to black glutinous rice flour of 50:50 and C = ratio of white glutinous rice flour to black glutinous rice flour of 0:100

เนื่องมาจากความร้อนและแรงเฉือนจากการกวนผสม โดยแป้งไดฟุกุสูตรที่ใช้อัตราส่วนแป้งข้าวเหนียวขาว:แป้งข้าวเหนียวดำเท่ากับ 100:0 ประกอบด้วยแป้งข้าวเหนียวขาว 90% และแป้งมันสำปะหลัง 10% แป้งไดฟุกุสูตรที่ใช้อัตราส่วนแป้งข้าวเหนียวขาว:แป้งข้าวเหนียวดำเท่ากับ 50:50 ประกอบด้วยแป้งข้าวเหนียวขาว 45% แป้งข้าวเหนียวดำ 45% และแป้งมันสำปะหลัง 10% และแป้งไดฟุกุสูตรที่ใช้อัตราส่วนแป้งข้าวเหนียวขาว:แป้งข้าวเหนียวดำเท่ากับ 0:100 ประกอบด้วยแป้งข้าวเหนียวดำ 90% และแป้งมันสำปะหลัง 10% ผลการวิเคราะห์พบว่าแป้งไดฟุกุสูตร 100:0 มีค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) 3,206 cP ค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) 2,102 cP ค่าความหนืดต่ำสุดระหว่างการทำเย็น (trough viscosity) 1,689 cP และมีอุณหภูมิเริ่มต้นการเกิดความหนืด (pasting temperature) 51.65 °C ขณะที่แป้งไดฟุกุสูตร 0:100 ซึ่งมีการทดแทนแป้งข้าวเหนียวขาวด้วยแป้งข้าวเหนียวดำ 100% แสดงค่า peak viscosity 1,467 cP ค่า final viscosity 1,588 cP และค่า trough viscosity 1,129 cP โดยมีค่า pasting temperature 51.05 °C และเมื่อมีการทดแทนแป้งข้าวเหนียวขาวด้วยแป้ง

ข้าวเหนียวดำ 50% พบว่าแป้งไดฟุกุสูตร 50:50 มีค่า peak viscosity ค่า final viscosity และค่า trough viscosity เท่ากับ 2,089 cP, 1,864 cP และ 1,460 cP ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการทดแทนแป้งข้าวเหนียวขาวด้วยแป้งข้าวเหนียวดำมีผลในการลดค่าความหนืดของส่วนผสมแป้งไดฟุกุอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) หรืออาจกล่าวอีกนัยหนึ่งคือแป้งข้าวเหนียวดำมีความหนืดน้อยกว่าแป้งข้าวเหนียวขาว ซึ่งสังเกตได้จากค่า peak viscosity ค่า final viscosity และค่า trough viscosity ของแป้งข้าวเหนียวดำที่ต่ำกว่าแป้งข้าวเหนียวขาว และเมื่อพิจารณาค่าผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด (setback) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) หรือการคืนตัวของแป้ง โดยเป็นการคืนตัวของแป้งหรือสตาร์ชเมื่อปล่อยให้เย็นตัวลง ซึ่งถ้าแป้งมีค่า setback สูง จะสามารถเกิดรีโทรเกรเดชันได้ดีและมีแนวโน้มที่จะให้เจลแป้งหรือสตาร์ชที่มีลักษณะแข็งมากขึ้น (Beta & Corke, 2001) จากผลการทดลองพบว่าแป้งไดฟุกุสูตร 0:100 มีค่า setback 459 cP ซึ่งสูงกว่าแป้งไดฟุกุสูตร 100:0 ที่มีค่า setback 413 cP ซึ่งชี้ให้เห็นว่าแป้งข้าวเหนียวดำมีการคืนตัวหรือเกิดรีโทรเกรเดชันได้มากกว่าแป้งข้าวเหนียวขาว ซึ่งอาจเป็นผลมาจากโมเลกุลอะมิโลเพคตินของแป้งข้าวเหนียวดำมีความสามารถในการจัดเรียงตัวใหม่ (re-association) ระหว่างปล่อยให้เย็นตัวลงได้ดีกว่าแป้งข้าวเหนียวขาว แต่อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยที่ผ่านมารายงานว่าสายโซ่แป้งในส่วนของโมเลกุลอะมิโลสเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการคืนตัวหรือเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้ง ซึ่งอัตราการเกิดรีโทรเกรเดชันแปรผันตามปริมาณอะมิโลสของแป้ง (Wang *et al*., 2015) ดังนั้นอาจเป็นไปได้ว่าแป้งข้าวเหนียวดำที่ใช้นี้มีปริมาณอะมิโลสสูงกว่าแป้งข้าวเหนียวขาว ซึ่งโดยทั่วไปแป้งข้าวเหนียวมีปริมาณอะมิโล-เพคติน 98-99% และมีปริมาณอะมิโลส 1-2% (Rini *et al*., 2019) หรืออาจเกิดจากความแตกต่างด้านความยาวของสายโซ่อะมิโลเพคติน (amylopectin chain length) ของแป้งข้าวเหนียวทั้ง 2 ชนิด โดย Thitisaksakul *et al*. (2021) รายงานว่า amylopectin chain length และขนาดของเม็ดแป้ง (starch granule) เป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดสมบัติด้านความหนืด (pasting properties) ของข้าวเหนียวที่มีสายพันธุ์แตกต่างกัน ดังนั้นเมื่อมีการทดแทนแป้งข้าวเหนียวขาวด้วยแป้งข้าวเหนียวดำ 50% จึงส่งผลให้ค่า setback ของแป้งไดฟุกุสูตร 50:50 (404 cP) มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งไดฟุกุสูตร 100:0 และ 0:100 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าค่าผลต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (breakdown) ของแป้งไดฟุกุทั้ง 3 สูตร มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเพิ่มปริมาณการทดแทนแป้งข้าวเหนียวขาวด้วยแป้งข้าวเหนียวดำ โดยผลที่ได้นี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Itthivadhanapong & Sangnark (2016) ที่พบว่าการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวเหนียวดำในส่วนผสมแป้งสำหรับทำเค้ก มีผลในการลดค่า peak viscosity, trough viscosity, breakdown และ final viscosity ของส่วนผสมแป้งสำหรับทำเค้ก เนื่องจากสมบัติด้านความหนืดของแป้งขึ้นอยู่กับปริมาณอะมิโลสของส่วนผสมแป้ง ซึ่งปริมาณอะมิโลสของส่วนผสมแป้งสำหรับทำเค้กมีค่าลดลงตามระดับการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งขาวเหนียวดำ จึงส่งผลให้ค่า setback ของส่วนผสมแป้งสำหรับทำเค้กลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วย

3. การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์ไดฟุกุจากข้าวเหนียวดำพันธุ์พื้นเมือง

ผลการวิเคราะห์ค่าสีพบว่า การเพิ่มแป้งข้าวเหนียวดำส่งผลต่อการเพิ่มค่าสีแดง (a*) และ

ค่าความชื้น แต่ลดค่าความสว่าง (L*) และค่าสีเหลือง (b*) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงใน Table 3 ซึ่งอาจเป็นผลมาจากแป้งข้าวเหนียวดำมีสารแอนโทไซยานิน โดยแอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุที่มีสีแดงถึงน้ำเงิน พบได้ในข้าวที่มีสี เช่น ข้าวหอมนิล ข้าวไรซ์เบอรี่ และข้าวเหนียวดำ ซึ่งพบได้ที่บริเวณเยื่อหุ้มผิวชั้นนอกและชั้นในของเมล็ด (พัชราภรณ์ และคณะ, 2556) ส่วนปริมาณความชื้นของไดฟุกุทั้ง 3 สูตรพบว่ามีค่าประมาณ 53% ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มของอาหารที่มีความชื้นสูง (high moisture food, อาหารที่มีความชื้นมากกว่า 50%) สอดคล้องกับงานวิจัยของเจตนิพัทธ์ และคณะ (2556) ที่รายงานว่าขนมไดฟุกุที่ผลิตโดยใช้กรรมวิธีแตกต่างกัน มีความชื้นอยู่ในช่วง 43.23-59.17% โดยไดฟุกุเป็นขนมที่มีแป้งข้าวเหนียวเป็นส่วนประกอบหลัก ซึ่งโดยทั่วไปแป้งข้าวเหนียวมีปริมาณอะไมโลเพคตินสูงมาก จึงมีความสามารถในการดูดน้ำสูง (Zobel, 1995)

การวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกและคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระพบว่า การทดแทนแป้งข้าวเหนียวขาวด้วยแป้งข้าวเหนียวดำส่งผลให้ไดฟุกุมีปริมาณสารฟีนอลิกและคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงดัง Table 3 โดยไดฟุกุที่ใช้แป้งข้าวเหนียวขาวต่อแป้งข้าวเหนียวดำอัตราส่วน 0:100 มีปริมาณสารฟีนอลิกสูงที่สุด 0.31±0.01 mg/mL และมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 34.97±0.29 mg/mL ส่วนไดฟุกุที่ใช้แป้งข้าวเหนียวขาวต่อแป้งข้าวเหนียวดำอัตราส่วน 100:0 มีปริมาณสารฟีนอลิกต่ำที่สุด 0.07±0.01 mg/mL และมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 25.28±0.20 mg/mL ผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าแป้งข้าวเหนียวดำที่ใช้นี้มีปริมาณสารฟีนอลิกและคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าแป้งข้าวเหนียวขาว ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของสายใจ และธีระ (2561) ที่พบว่าข้าวเหนียวดำสายพันธุ์พื้นเมืองในจังหวัดนครราชสีมา มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอลิก และสารประกอบฟลาโวนอยด์สูงที่สุด มากกว่าข้าวขาวสายพันธุ์อื่นๆ ขณะที่ไดฟุกุที่ใช้แป้งข้าวเหนียวขาวต่อแป้งข้าวเหนียวดำอัตราส่วน 50:50 มีปริมาณสารฟีนอลิกเท่ากับ 0.11±0.02 mg/mL และมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 29.84±0.35 mg/mL ดังนั้นปริมาณสารฟีนอลิกและคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระของแป้งไดฟุกุจึงขึ้นอยู่กับอัตราส่วนการทดแทนแป้งข้าวเหนียวขาวด้วยแป้งข้าวเหนียวดำ อย่างไรก็ตามจากการศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของข้าวเหนียวดำสายพันธุ์ลืมผัวที่หุงสุกแล้วของ Wattanananpakasem *et al*. (2017) พบว่ามีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งตรวจสอบโดยวิธี DPPH เท่ากับ 14.81 mmole Trolox/g และมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 6.90 mg GAE/g ทั้งนี้ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่แตกต่างจากผลการทดลองนี้ อาจเป็นผลมาจากความแตกต่างของสายพันธุ์ข้าวเหนียวดำและวิธีการทดสอบที่ใช้ ซึ่งบ่งชี้ให้เห็นว่าฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดแปรผันตามสายพันธุ์ของข้าวเหนียวดำ สำหรับค่าปริมาณพลังงานในอาหารของไดฟุกุทั้ง 3 สูตร ซึ่งได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับการทดแทนด้วยแป้งข้าวเหนียวดำ โดยมีค่าพลังงานประมาณ 2-3 kcal/g (Table 3) ซึ่งใกล้เคียงกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่รายงานว่าขนมไดฟุกุที่ผลิตด้วยผงมันเทศสีม่วงบางส่วนมีค่าพลังงานเท่ากับ 221.07 kcal/100g หรือ 2.21 kcal/g (ธนาภรณ์ และคณะ, 2559) เมื่อวัดค่าคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไดฟุกุที่เตรียมจากแป้งข้าวเหนียวขาวและแป้งข้าวเหนียวดำสูตรต่างๆ แสดงดัง Table 4 พบว่าการทดแทนแป้งข้าวเหนียวขาวด้วยแป้งข้าวเหนียวดำไม่มีผลทางสถิติ ($p>0.05$) ต่อค่าพลังงานยึดเกาะกันภายในเนื้ออาหาร (cohesiveness) ระดับความเป็นกาวยางหรือแป้งเปียก (gumminess) พลังงานในการเคี้ยว (chewiness) และการเกาะติดผิว (adhesiveness) ของผลิตภัณฑ์ไดฟุกุ ทั้งนี้เนื่องจากแป้งข้าวเหนียวมีปริมาณอะมิโลเพคตินสูง

Table 3 Physicochemical properties of Daifuku prepared from the different ratio of white glutinous rice flour to black glutinous rice flour

Parameters		Ratio of glutinous rice flour to black glutinous rice flour		
		100:0	50:50	0:100
Color	L*	68.26±0.17[a]	50.32±0.12[b]	42.17±0.12[c]
	a*	2.33±0.13[c]	6.50±0.17[a]	4.77±0.12[b]
	b*	5.75±0.09[a]	5.30±0.09[b]	2.27±0.14[c]
Moisture content (%)		53.16±0.06[c]	53.26±0.06[b]	53.35±0.08[a]
Phenolic content (mg/mL)		0.07±0.01[c]	0.11±0.02[b]	0.31±0.01[a]
Antioxidant property (DPPH) (mg/mL)		25.28±0.20[c]	29.84±0.35[b]	34.97±0.29[a]
Energy (kcal/g)		2.20±0.05[c]	2.47±0.03[b]	2.56±0.03[a]

Note: *Mean values with different letters in each low are significantly different ($p \leq 0.05$).

Table 4 Texture analysis of Daifuku prepared from the different ratio of white glutinous rice flour to black glutinous rice flour

Parameters	Ratio of white glutinous rice flour to black glutinous rice flour		
	100:0	50:50	0:100
Hardness[ns] (kgf)	0.49±0.40	0.51±0.14	0.62±0.33
Cohesiveness[ns]	0.02±0.03	0.02±0.02	0.03±0.03
Springiness (mm)	3.55±0.52[a]	1.96±1.27[b]	2.11±1.08[b]
Gumminess[ns] (kgf)	0.01±0.01	0.01±0.01	0.03±0.04
Chewiness[ns] (kgf.mm)	0.04±0.05	0.03±0.04	0.06±0.06
Adhesiveness[ns] (kgf.mm)	0.00±0.01	0.01±0.02	0.01±0.03

Note: * Mean values with different letters in each low are significantly different ($p \leq 0.05$).

ซึ่งจากการศึกษาของ Keeratipibul *et al*. (2008) พบว่าแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 มีปริมาณอะมิโลส 2.04-2.11% ที่เหลือเป็นส่วนของอะมิโลเพคติน ซึ่งมีความสามารถในการดูดน้ำสูงและเจลที่ได้มีลักษณะใส ไหลได้ง่าย และมีความข่นสูง (Zobel, 1995) จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ไดฟุกุทั้ง 3 สูตร มีลักษณะเนื้อสัมผัสด้าน cohesiveness, gumminess, chewiness และ adhesiveness ไม่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามค่าความแข็ง (hardness) หรือแรงที่ใช้ในการทำให้ผลิตภัณฑ์ไดฟุกุเสียรูปมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อมีการทดแทนแป้งข้าวเหนียวขาวด้วยแป้งข้าวเหนียวดำ ซึ่งสัมพันธ์กับค่า setback ของแป้งข้าวเหนียวดำที่สูงกว่าแป้งข้าวเหนียวขาว (Table 2) ขณะที่เมื่อพิจารณาถึงการกลับคืนสู่ขนาดและรูปร่างเดิม (springiness) หรือความยืดหยุ่น (ธัญญาภรณ์, 2549) พบว่าการทดแทนแป้งข้าวเหนียวขาวด้วยแป้งข้าวเหนียวดำมีผลในการลดค่า springiness ของผลิตภัณฑ์ไดฟุกุอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยไดฟุกุสูตร 100:0 มีค่า springiness 3.55 nm ขณะที่ไดฟุกุสูตร 0:100 มีค่า springiness 2.11 nm แสดงให้เห็นว่าไดฟุกุสูตร 100:0 (ไม่มีการทดแทนด้วยแป้งข้าวเหนียวดำ) มีความยืดหยุ่นหรือนุ่มมากกว่าสูตร 0:100 (ทดแทนด้วยแป้งข้าวเหนียวดำ 100%) เนื่องจากใช้ระยะทางในการกลับคืนสู่ขนาดและรูปร่างเดิมมากกว่า ซึ่งสัมพันธ์กับสมบัติด้าน

ความหนืดของแป้งข้าวเหนียวขาวที่มีความหนืดมากกว่าแป้งข้าวเหนียวดำดังแสดงใน Table 2 และสอดคล้องกับการศึกษาของชนิษฎา และกมลวรรณ (2554) ที่พบว่าขนมไดฟุกุที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของแป้งข้าวเหนียวกล้องต่อแป้งมันสำปะหลังสูง (100:0 และ80:20) มีแนวโน้มของค่า springiness ลดลงเมื่อปริมาณน้ำลดลง

4. การประเมินทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไดฟุกุจากข้าวเหนียวดำ

ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไดฟุกุแสดงดัง Table 5 พบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับทางประสาทสัมผัสในด้านสี (color) ความหวาน (sweetness) และความชอบรวม (overall liking) ของผลิตภัณฑ์ไดฟุกุทั้ง 3 สูตรไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่พบว่าการทดแทนแป้งข้าวเหนียวขาวด้วยข้าวเหนียวดำส่งผลให้ผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับในด้านความแน่นเนื้อ (firmness) และความเหนียว (stickiness) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากแป้งข้าวเหนียวดำมีความหนืดน้อยกว่าแป้งข้าวเหนียวขาวและมีแนวโน้มการคืนตัวที่ดีกว่า ซึ่งเมื่อมีการเติมลงไปเพื่อทดแทนแป้งข้าวเหนียวขาวในส่วนผสมแป้งไดฟุกุ จึงทำให้ส่วนผสมแป้งไดฟุกุมีเนื้อสัมผัสแน่นและแข็งขึ้น ซึ่งสัมพันธ์กับสมบัติด้านความหนืดในส่วนของค่า setback ที่แสดงดัง Table 2 และลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแข็ง (hardness) ที่ตรวจวัดได้จากเครื่อง Texture analyzer ดังแสดงใน Table 4 นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับการศึกษาของไชยสิทธิ์และคณะ (2560) ที่รายงานว่าค่าความแน่นเนื้อของผลิตภัณฑ์บราวนี่มีค่าสูงขึ้นเมื่อปริมาณแป้งข้าวเหนียวดำเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างส่วนใหญ่ในแป้งข้าวเหนียวดำเป็นอะมิโลเพคติน ซึ่งจะให้ความข้นหนืดเมื่อได้รับความชื้นและความร้อน และเนื่องจากมีปริมาณของอะมิโลสน้อย ดั้งนั้นเมื่อเกิดการคืนตัว (retrogradation) จึงส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้านเนื้อสัมผัส ทำให้เนื้อสัมผัสมีความแน่นเนื้อที่เพิ่มขึ้น

Table 5 Sensory evaluation of Daifuku prepared from the different ratio of white glutinous rice flour to black glutinous rice flour

Parameters	Ratio of white glutinous rice flour to black glutinous rice flour		
	100:0	50:50	0:100
Color ^{ns}	7.03±1.16	6.80±1.19	6.73±1.17
Firmness	7.00±1.11 ^{a}	6.80±1.13 ^{ab}	6.27±1.11 ^{b}
Stickiness	6.93±1.17 ^{a}	6.77±1.17 ^{ab}	6.30±1.12 ^{b}
Sweetness ^{ns}	6.70±1.06	6.73±1.14	6.70±1.09
Overall liking ^{ns}	6.87±1.14	6.77±1.14	6.40±1.00

Note: *Mean values with different letters in each low are significantly different ($p\leq0.05$).

สรุป

จากการศึกษาลักษณะทางเคมีกายภาพและประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไดฟุกุที่มีการทดแทนแป้งข้าวเหนียวขาวด้วยแป้งข้าวเหนียวดำพันธุ์พื้นเมืองจังหวัดจันทบุรี (ชื่อทางการค้า คือ ข้าวหอมจันท์โอชา) พบว่าอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเหนียวขาวต่อแป้งข้าวเหนียวดำส่งผลต่อคุณภาพด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ไดฟุกุ โดยการเพิ่มปริมาณแป้งข้าวเหนียวดำส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ไดฟุกุมีค่าสีแดง (a*) มากขึ้น และมีค่าความสว่าง (L*) และค่าสีเหลือง (b*) ลดลง นอกจากนี้ยังมีผลในการเพิ่มความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน และเพิ่มปริมาณสารฟีนอลิก แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มปริมาณแป้งข้าวเหนียวดำจะทำให้ไดฟุกุมีความยืดหยุ่นน้อยลง โดยเนื้อสัมผัสมีแนวโน้มที่จะแข็งขึ้นเมื่อทดแทนแป้งข้าวเหนียวขาวด้วยแป้งข้าวเหนียวดำอัตราส่วน 0:100

ซึ่งผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านความแน่นเนื้อและความเหนียวลดลงด้วย ดังนั้น การทดแทนแป้งข้าวเหนียวขาวด้วยแป้งข้าวเหนียวดำอัตราส่วน 50:50 จึงเป็นสัดส่วนที่เหมาะสม เนื่องจากผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์ไดฟุกุที่ใช้แป้งข้าวเหนียวขาวเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ยังมีปริมาณสารฟีนอลิกและคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระสูงกว่า แต่อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาปริมาณแอนโทไซยานินและอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ไดฟุกุจากแป้งข้าวเหนียวดำในสภาวะปกติ หรือการเสริมใยอาหารให้กับผลิตภัณฑ์ไดฟุกุจากแป้งข้าวเหนียวดำเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี และคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการเกษตร ที่ให้การสนับสนุนการทำวิจัยด้วยเงินงบประมาณรายได้ประจำปี 2564 และขอขอบคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี ทุกท่านที่มีส่วนช่วยให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

จรัญจิต เพ็งรัตน์ และสุวัฒน์ เจียระมั่นคง. (2554). ข้าวเหนียวดำ: หลากประโยชน์ หลายแนวคิด เสริมเศรษฐกิจไทยสู่สากล. *วารสารวิชาการข้าว*, *4*(2), 73-82.

เจตนิพัทธ์ บุณยสวัสดิ์, สุนีย์ สหัสโพธิ์, อภิญญา มานะโรจน์, และจักราวุธ ภู่เสม. (2556). *การศึกษากรรมวิธีการผลิตขนมไดฟุกุ* (รายงานผลการวิจัย). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

ชนิษฎา วงศ์บาสก์ และกมลวรรณ แจ้งชัด. (2554). อิทธิพลของส่วนผสมต่อคุณภาพขนมไดฟุกุจากแป้งข้าวเหนียวกล้องงอก. *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49* (น. 173-181). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ไชยสิทธิ์ พันธุ์ฟูจินดา, เลอลักษณ์ เสถียรรัตน์, และอรวัลภ์ อุปถัมภานนท์. (2560). การพัฒนาผลิตภัณฑ์บราวนี่โดยใช้แป้งข้าวเหนียวดำทดแทนแป้งสาลี. *วารสาร มทร.อีสาน ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, *10*(1), 106-119.

ณัชษชี ณัชปภาส์มณ, สันทณีย์ ปัญจอานนท์ และดุษฎี อุตภาพ. (2559). ผลของการดัดแปรแป้งด้วยวิธีการใช้ความร้อนชื้นต่อสมบัติและโครงสร้างของแป้งที่มีโครงสร้างผลึกแบบ A และ B. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ*, *39*(2), 257-270.

ธนาภรณ์ เลียบทอง คนันท์นาฏ เรืองสกุล ทิตยา ชนะกุล อินทัช สาระกุล และ สิริโสภา จุนเด็น. (2559). การศึกษาคุณลักษณะทางเคมีและการยอมรับของแป้งไดฟุกุที่ผลิตด้วยผงมันเทศสีม่วงบางส่วน. *การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยรังสิต ประจำปี 2559* (น. 168-175). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยรังสิต.

ธัญญาภรณ์ ศิริเลิศ. (2549). การประเมินลักษณะเนื้อสัมผัสในอาหาร. *วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม*, *3*(1), 6-13.

นฤมล มงคลธนวัฒน์, ละอองดาว ว่องเอกลักษณ์ และวรัญญา โนนม่วง. (2559). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริม GABA จากข้าวดำงอกสายพันธุ์พื้นเมือง สำเร็จรูป* (รายงานผลการวิจัย). จันทบุรี: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก.

นฤมล มงคลธนวัฒน์, ละอองดาว ว่องเอกลักษณ์ และ วิทิต เลิศนิมิตมงคล. (2560). *การผลิตเครื่องดื่มข้าวดำงอกสายพันธุ์พื้นเมืองผงสำเร็จรูป* (รายงานผลการวิจัย). จันทบุรี: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก.

นัยนา บุญทวียุวัฒน์. (2553). *ชีวเคมีทางโภชนาการ*. (น. 1-435). กรุงเทพฯ: เจริญดีมั่นคงการพิมพ์.

นวลพรรณ นงค์เยาว์, นันท์นภัส แก้วประดับ, พรรณีรัตนชัยสิทธิ์ และจิรศักดิ์ คงเกียรติขจร (2557). การวิเคราะห์องค์ประกอบแอนโทไซยานินในรำข้าวสี. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม* (ฉบับพิเศษ), 649-660.

พัชราภรณ์ รัตนธรรม, ณัฏฐา เลาหกุลจิตต์, และ อรพิน เกิดชูชื่น. (2556). สารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของข้าวกล้องสีงอก. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร* (ฉบับพิเศษ), *44*(2), 441-444.

สายใจ ปอสูงเนิน และ ธีระ ธรรมวงศา. (2561). องค์ประกอบทางเคมีบางประการ และคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระของข้าวพื้นเมืองในจังหวัดนครราชสีมา. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, *23*(2), 971-984.

สุภามาศ หาญเพิ่มชัย, ปิติพร ฤทธิเรืองเดช, มินตรา นักธรรม และ นันทวัน เทอดไทย. (2563). ผลของการปอกเปลือกและเวลาในการนึ่งต่อสมบัติด้านความหนืดของแป้งกล้วยดิบและด้านเนื้อสัมผัสของเจลแป้ง. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ*, *43*(3), 367-378.

สุริยาพร นิพรรัมย์ วรรณภา สระพินครบุรี และ อรรณพ ทัศนอุดม. (2555). ผลของพันธุ์และปริมาณข้าวเหนียวดำต่อคุณลักษณะของข้าวอบกรอบ. *วารสารวิทยาศาสตร์ มข*, 40(3), 890-898.

อัจฉรา ดลวิทยาคุณ. (2556). *พื้นฐานโภชนาการ*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์ .

Beta, T., & Corke, H. (2001). Noodle Quality as Related to Sorghum Starch Properties. *Cereal Chemistry, 78*, 417- 420. doi: 10.1094/CCHEM.2001.78.4.417.

Chen, P. N., Kuo, W. H., Chiang, C. L., Chiou, H. L., Hsieh, Y. S., & Chu, S. C. (2006). Black rice anthocyanins inhibit cancer cells invasion via repressions of MMPs and u-PA expression. *Chemico Biological Interactions*, *163*(3): 218-29. doi: 10.1016 /j.cbi.2006.08.003.

Gulcin, I., Oktay, M., Kirecci, E., & Kufrevioglu, O. I. (2003). Screening of antioxidant and antimicrobial activities of anise (Pimpinella anisum L.) seed extracts. *Food Chemistry*, *83,* 371- 382. doi: 10.1016/S0308-8146 (03)00098-0.

Iqbal, S., Bhanger, M. I., & Anwar, F. (2005). Antioxidant properties and some commercially available varieties of rice bran in Pakistan. *Food Chemistry, 93*(2), 265- 272. doi: 10.1016/j.foodchem.2004. 09.024.

Itthivadhanapong, P., & Sangnark, A. (2016). Effects of substitution of black glutinous rice flour for wheat flour onbatter and cake properties. *International Food Research Journal*, *23*(3), 1190-1198.

Jiamyangyuen, S., Nuengchamnong, N., & Ngamdee, P. (2019). Changes of anthocyanins in black rice flours prepared by cooking and pregelatinization. *Chiang Mai University Journal of Natural Sciences*,*18*, 535-552. doi: 10.12982/CM UJNS.2019.0035.

Keeratipibul, S., Luangsakul, N., & Lertsatchayarn, T. (2008). The effect of Thai glutinous rice cultivars, grain length and cultivating locatins on the quality of rice cracker (arare). *LWT-Food Science and Technology*, *41*, 1934-1943. doi: 10.101 6/j.lwt.2007.12.008.

Lazze, M. C., Savio,M., Pizzala, R., Cazzalini, O., Perucca, P., Scovassi, A. I., Stivala, L. A., & Bianchi, L. (2004). Anthocyanins induce cell cycle perturbations and apoptosis in different human cell lines. *Carcinogenesis*, *25*(8), 1427-1433. doi: 10.1093/carcin/bgh 138.

Rini, Yenrina, R., Anggraini, T., & Chania, N. E. (2019). The effects of various way of processing black glutinous rice *(Oryza sativa L. Processing Var Glutinosa*) on digestibility and energy value of the products. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, *327*, 012013. doi:10.1088/1755-1315/327/1/012013.

Ronie, M.E., & Hasmadi, M. (2022). Factors affecting the properties of rice flour: a review. *Food Research*, *6*(6), 1-12. doi: 10.26656/fr.2017.6(6).531.

Thitisaksakul, M., Sangwongchai, W., Mungmonsin, U., Promrit, P., Krusong, K., Wanichthanarak, K., & Tananuwong, K. (2021). Granule morphological and structural variability of Thai certified glutinous rice starches in relation to thermal, pasting, and digestible properties. *Cereal Chemistry*, *98(*3), 492-506. doi: 10.1002/cche.10389.

Wang, S., Li, C., Copeland, L., Niu, Q., & Wang, S. (2015). Starch Retrogradation: A Comprehensive Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*,*14*(5), 568-585. doi: 10.1111/1541-4337.12143.

Wattanananpakasem, I., Phooka, P., Chokprasert, P., & Penjumras, P. (2017). Effect of cooked black glutinous rice on viability of *Lactobacillus casei* Lc-5 in yoghurt. *Proceedings of the Burapha University International Conference 201*7. 17-23.

Zobel, H.F., & Stephen, A.M. (1995). Starch: Structure, analysis, and application. In A.M.Stephen (Ed.), *Food Polysaccharides and their Applications* (pp. 25-85). Boca Raton: CRC Press.